

Д. А. Упоров, А. В. Румянцева,  
*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

## **ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ШИН МЕТОДОМ ПИРОЛИЗА**

As the title implies the article describes features of tire recycling by pyrolysis. There were conducted comparisons between the microwave pyrolysis and conventional pyrolysis. The products retrieved during the process of tires being recycled. Russian and foreign players were represented in this market. Conclusions about the necessity for such research were made.

По данным Росстата в Российской Федерации на 1000 человек населения число собственных автомобилей составляет 305 единиц [1]. Исходя из того, что численность населения составляет 148,9 млн человек, общее количество личных автомобилей составляет примерно 45,5 млн единиц. Срок службы автомобильной шины в среднем составляет 5 лет, зачастую реальный срок оказывается ниже, в районе 3–4 лет [2, 3]. Таким образом, каждые 4–5 лет количество изношенных шин возрастает больше, чем на 181 тыс. шт. или, если брать среднюю массу одной шины 7 кг, то прирост составляет 1,2 млн т. Если брать в расчет грузовой транспорт, то эта цифра возрастает до 2 млн т и выше.

Постоянный прирост отработанных шин является проблемой не только в России, но и во всем мире. Их неконтролируемое сжигание ведет к загрязнению атмосферы сажей, окисью углерода, цианистыми соединениями, диоксидами. Поскольку резина высокоустойчива к воздействию факторов окружающей среды, накопление больших объемов отработанных покрышек создает серьезную экологическую проблему. Решить ее помогут современные и инновационные технологии переработки отработанных шин. Стоит отметить, что несмотря на существование множества способов переработки в России, их внедрение имеет довольно ограниченный характер. В основном это связано со значительными материальными затратами и организацией дополнительных производств, которые трудно сделать достаточно эффективными из-за сложности протекающих процессов.

В настоящее время разработано довольно большое количество способов переработки изношенных автомобильных шин. Эти способы позволяют получать новые виды продукции для химических производств, дорожного и

гражданского строительства и т. д. Бывшие в употреблении автомобильные шины являются источниками углеводородов, как предельных, так и непредельных. Помимо этого, в них содержится металлокорд и углеродный остаток. Для того, чтобы добыть эти компоненты используют процессы термической деструкции материала шин, в частности, процесс пиролиза. Пиролиз – это процесс термического разложения вещества без доступа воздуха, при температуре от ~350 до ~600 °С.

Одним из инновационных и передовых методов является метод СВЧ-пиролиза. СВЧ-Пиролиз – это новое направление в переработке шин. При воздействии микроволнового поля на обрабатываемый материал распределение энергии происходит одновременно по всему объему, поэтому нагрев материала происходит значительно быстрее, чем при обычном пиролизе (который происходит при конвекционном нагреве).

Вследствие того, что сам механизм нагрева материала в поле СВЧ принципиально отличается от обычного нагрева, значительно отличается и состав газообразных и жидких продуктов. Т. к. нагрев происходит одновременно по всему объему, то данная технология позволяет сократить время и увеличить глубину переработки в сравнении с традиционным пиролизом.

Однако, несмотря на данные плюсы, у этой технологии есть существенные особенности, которые ограничивают ее применение. Во-первых, в процессе СВЧ-Пиролиза шин образуются углеводороды, которые заново легко полимеризуются в высокомолекулярные смолистые соединения. При подборе оптимальных режимов можно добиться продукта с минимальным содержанием высокомолекулярных углеводородов и серосодержащих соединений, но практика показывает, что для этого потребуются дополнительные добавки в виде гидроксида калия (KOH) [4].

Во-вторых, метод СВЧ-Пиролиза на практике применялся только в лабораторных условиях. Внедрение данной технологии в промышленных масштабах ограничивается тем, что излучатель сверхвысоких частот требует существенных капитальных вложений, в сравнении с классической печью для

пиролиза. Высокие затраты означают увеличенную себестоимость продукции. Также сама технология требует углубленных знаний на стыке физики и химии, что делает затруднительным подбор компетентных кадров.

Можно сделать следующий вывод: технологию СВЧ-Пиролиза возможно применять для получения химических продуктов пиролиза, однако, для того чтобы применять данную технологию в промышленных масштабах необходимо снизить стоимость готовых продуктов.

Классический пиролиз автомобильных шин при помощи конвекционного нагрева. Данная технология основана на том, что отработанные автомобильные шины загружаются в реторту и герметично закрываются. Далее происходит нагрев загруженных материалов без доступа воздуха. В отличие от СВЧ-пиролиза нагрев происходит не так равномерно, однако оборудование для технологии конвекционного нагрева стоит существенно дешевле. Для начала процесса деструкции подогрев тигля – емкости с отработанными автомобильными шинами осуществляется от внешнего источника. Со временем, как только начнется данный процесс, газ, который будет образовываться в ходе пиролиза, будет подогревать тигли практически исключая потребность в постоянной подаче тепла извне.

В ходе пиролиза образуются четыре основных продукта:

- **металлокорд.** Металл, образующийся в ходе переработки пригоден для дальнейшей реализации на пункты приёма металла;

- **пиролизная жидкость.** В зависимости от выбранных технологических режимов возможно получать различный фракционный состав жидкого продукта. Так, изменяя температуру и время термического воздействия на шину, можно получить бóльшую фракцию легких или тяжелых углеводородов, в зависимости от того, какая цель стоит перед производством;

- **технический углерод.** Данный продукт можно вновь использовать в резинотехнической промышленности, а также в лакокрасочной промышленности, строительстве дорог или, как твердое топливо (после необходимой обработки) [9]. По некоторым данным технический углерод может

содержать до 92–99 % чистого углерода, что допускает его применение для получения углерод-углеродных материалов (УУМ). УУМ – это новый класс пористых композитных материалов, сочетающих преимущества как графита, так и активных углей [5].

– *пиролизный газ*. Данный продукт может использоваться как топливо для теплогенераторов или горелок. Одновременно с этим лучшее применение для данного газа является его использование, как топлива для поддержания необходимой температуры в технологическом процессе пиролиза [5].

В сравнении с другими методами переработки отработанных шин, такими, как сжигание, дробление/криогенное дробление в резиновую крошку, захоронение шин в землю, пиролиз является наиболее экологически чистым способом переработки. Это связано с тем, что технология пиролиза не предусматривает контакта сырья с атмосферой в ходе технологического процесса, что практически исключает вредные выбросы в ходе производства.

По выбору пиролизная установка может быть стационарного или динамического типа. При использовании стационарной печи тигли герметично закрываются и остаются неподвижными на протяжении всего цикла термической деструкции. При эксплуатации установок с подвижной печью, реторта вращается или перемешивает сырье методом «пьяной бочки».

Данные манипуляции позволяют быть технологии более энергоэффективной благодаря равномерному нагреву содержимого. Помимо этого, при перемешивании металлокорд скатывается в клубки, которые проще извлекать из массы готового продукта.

На российском рынке переработкой шин методом пиролиза занимается ряд компаний, например, компания Пиролиз-Экопром, г. Нижний Новгород. Данная компания постоянно модернизирует собственные установки, однако вопрос избытков пиролизного газа до сих пор решается не конденсацией в отдельные емкости, а дожиганием излишков в атмосфере. На востоке страны компания Эко-Стар также занимается утилизацией отработанных автомобильных шин в пиролизных печах. Т. к. эта компания занимается комплексной переработкой

отходов, то большая часть топлива идет на отопление собственных мощностей. Данный факт подтверждает применимость продуктов переработки шин.

Обращаясь к зарубежному опыту, стоит отметить, что переработка автомобильных шин методом пиролиза применяется уже довольно давно. Примером может служить Англия, где около 20 лет назад в эксплуатацию введен завод по переработке шин мощностью 50 тыс. т в год. В процессе переработки получается 3–4 тыс. т легкого дистиллята, 20 тыс. т жидкого топлива, 17 тыс. т твердого топлива и 5–7 тыс. т металла. Стоимость завода составила 12 млн долларов. Компания «*Energy Research International Inc*» (США) с помощью своей установки может перерабатывать до 1 млн (примерно 10 тыс. т) легковых покрышек в год [6]. Высокого уровня переработки достигли также многие европейские страны: Финляндия, Швеция и Норвегия. Стоит отметить, что в цену новой шины для легкового автомобиля, при покупке, входит еще и 1,75 евро за утилизацию плюс 24 % НДС на эту сумму. Например, финский автовладелец платит этот сбор и тогда, когда покупает новый автомобиль. Один из методов утилизации заключается в переработки шин методом пиролиза [7].

Пиролиз – это один из перспективных способов переработки шин, суть которого заключается в получении углеводородов различного состава и других компонентов, пригодных для дальнейшего применения. Существуют различные способы получения необходимых продуктов: СВЧ и конвекционный пиролиз, как было описано выше, в теории пиролиз возможен под воздействием инфракрасного излучения. [8] Каждый метод имеет свои особенности, у каждого есть свои преимущества и недостатки. Исследования в области переработки шин помогают в борьбе с неконтролируемым приростом отходов резинотехнических изделий, а также помогают внедрять инновационные методы переработки на отечественных предприятиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Росстат // Количество автомобилей на 1000 человек. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 20.03.2019).

2. ГОСТ 4754-97 «Шины пневматические для легковых автомобилей, прицепов к ним, легких грузовых автомобилей и автобусов особо малой вместимости».

3. ГОСТ 5513-97 «Шины пневматические для грузовых автомобилей, прицепов к ним, автобусов и троллейбусов».

4. Яцун, А. В. СВЧ-Пиролиз изношенных автомобильных шин в присутствии гидроксида калия / А. В. Яцун, П. Н. Коновалов, Н. П. Коновалов // Современный наукоемкие технологии. – 2017. – С. 83–87.

5. Макаров, А. В. Некоторые аспекты рециклинга изношенных автомобильных покрышек методом пиролиза // Вестник ТОГУ. – 2008. – С. 247 – 258.

6. Вольфсон, С. И. Методы утилизации шин и резинотехнических изделий / С. И. Вольфсон, Е. А. Фафурина, А. В. Фафурин // Вестник Казанского Технологического Университета. – 2011. – С. 74–79.

7. Ростарчук, М. Как утилизируют старые покрышки в Финляндии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://colesa.ru/news/23155> (дата обращения 25.03.2019).

8. Семенистая, Т. В. Исследование свойств нанокompозитных пленок кобальтсодержащего ИК-пиролизованного полиакрилонитрила / Т. В. Семенистая, В. В. Петрова, Х. Х. Калажоков, З. Х. Калажоков, Б. С. Карамурзов, Х. В. Кушхов, С. П. Коноваленкос // Электронная обработка материалов. – 2015. – С. 9–18.

9. Папин, А. В. Получение композиционного топлива на основе технического углерода пиролиза автошин / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, Е. А. Макаревич, А. В. Неведров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – С. 107–113.